

## EKSENEL VE ENİNE YÜKLENMİŞ KULAK YAPILARINDAKİ GERİLME YIĞILMA DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ

Aslıhan ESMER<sup>1</sup>, Yavuz YAMAN<sup>2</sup>  
ODTÜ – Havacılık ve Uzay Müh., Ankara

### ÖZET

*Bu bildiri de enine ve eksenel yüklenen kulak yapılarının gerilme yığılması değerlerinin elde edilme yaklaşımı ve sonlu elemanlar analizleri sunulmuştur. Literatürde yer alan yöntemler kullanılarak sadece belirli malzemelere sahip olan ve koniklik açısı sıfır derece olan kulak yapıları için elde edilebileceği bir yöntem sunulmuştur. Önerilen bu yönteme göre, uygulanan yük değerinin, kulak yapısı geometrisinin ve malzeme tipinin gerilme yığılması değerleri üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi için 16 farklı durum için gerilme yığılması değerleri analitik olarak hesaplanmıştır. Bu değerler sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen maksimum gerilme değeri ile karşılaştırılarak gerilme yığılması değerleri elde edilmiştir. Ardından bu değerler literatürde verilen yöntemler ile karşılaştırılarak aralarında oransal bir ilişki elde edilmiştir.*

### GİRİŞ

Kulak yapıları dönme hareketinin olduğu ve yüksek konsantre gerilmelerin iletildiği uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır [Niu, 1999].

Kulak yapılarının tasarım kriterlerine göre montaj faktörü 1,15 olarak seçilmeli ve emniyet payı en az 0,2 olmalıdır [Niu, 1999].

Bu değerlerin analitik hesaplarında kullanılan kulak yapılarının müsaade edilebilir nihai ve sünme yüklerinin belirlenmesinde kulak geometrisi ile birlikte kulak yapılarının delik çevrelerinde oluşan gerilme yığılması değerleri de etkili olmaktadır. Bu sebeple, kulak yapılarının gerilme yığılması değerlerinin belirlenebilmesi önem arz etmektedir.

Literatürde yer alan yöntemler; gerilme yığılması değerlerinin yükleme ve kırılma tiplerine göre, malzeme tipi ve kulak geometrisine bağlı olarak değişen farklı grafiklerden elde edilmesini önermektedirler [Niu, 1999]. Bununla birlikte, bu yöntemler yalnızca koniklik açısı sıfır derece olan kulak yapıları ve belirli malzeme tipleri ile sınırlı kalmaktadır.

Bu çalışmada, eksenel yükleme altındaki sıfır derece koniklik açısına sahip kulak yapılarının sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen maksimum gerilme değeri ile analitik olarak hesaplanan gerilme değeri karşılaştırılarak 2 farklı yük değeri, 2 farklı malzeme tipi ve 4 farklı geometri için gerilme yığılması değerleri elde edilmiştir.

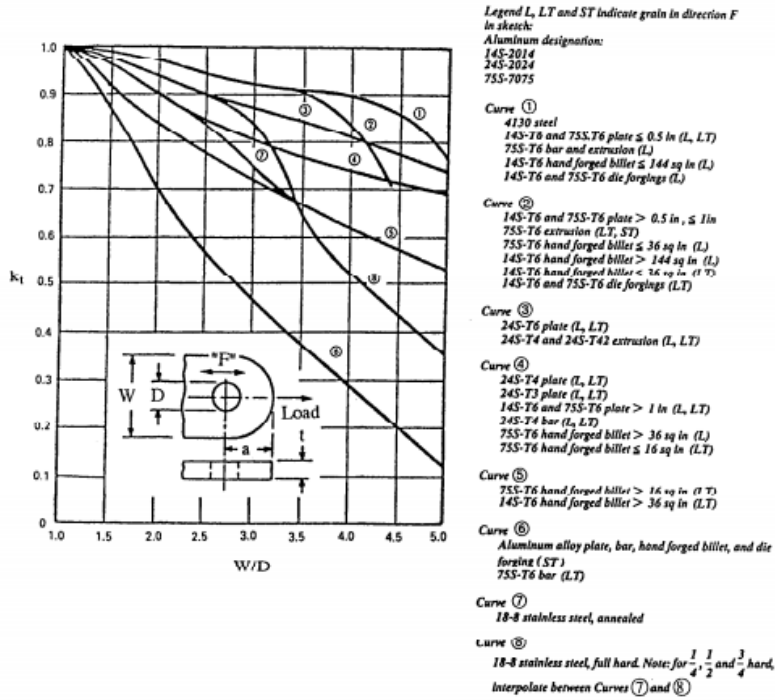
### TEORİ

Niu (1999) ve Bruhn (1973), eksenel yükler altındaki kulak yapılarının gerilme kırılma (tensile failure) tipi için gerilme yığılması değerlerinin Şekil 1'de verilen grafikten elde edilmesini önermektedir. Bu yönteme göre, gerilme yığılması değerleri  $W/D$  oranı ile değişmekte ve farklı

<sup>1</sup> Y. Lisans Öğrencisi, E-posta: aslihan.esmer2@tai.com.tr

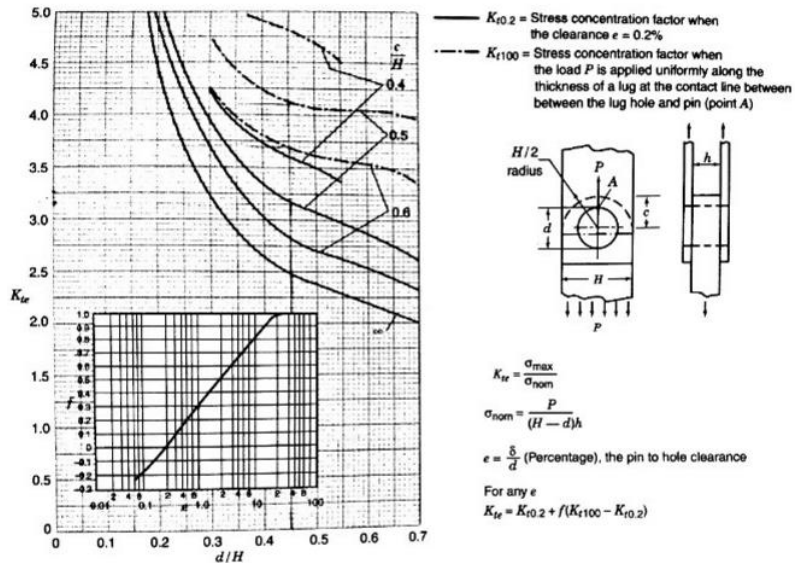
<sup>2</sup> Prof. Dr., ODTÜ Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: yyaman@metu.edu.tr

malzeme tipleri için farklı eğriler kullanılarak elde edilmektedir. Fakat önerilen bu yöntemle göre gerilme yığılması değerleri belirli malzemeler ile sınırlı kalmakta ve sadece koniklik açısı sıfır derece olan kulak yapıları için elde edilebilmektedir.

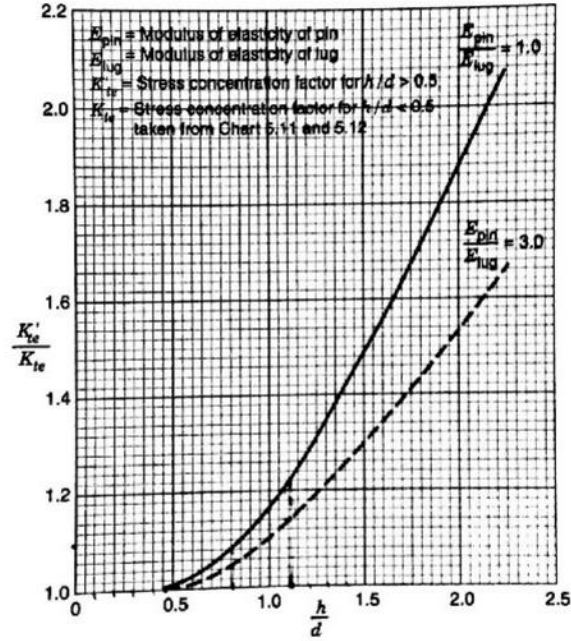


Şekil 1: Gerilme Yığılması Değerleri [Niu, 1999]

Pilkey (1998), gerilme yığılması değerlerini kulak geometrisinin yanısıra kulak-bağlayıcı aralık değerinin etkilediğini önermektedir. Ayrıca,  $t/D < 0.5$  ve  $t/D > 0.5$  için farklı gerilme yığılması değeri hesaplama yöntemleri sunarak kulak yapısının kalınlık etkisinin de göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmektedir.  $t/D < 0.5$  kulak yapısı geometrisi için gerilme yığılması değerleri farklı W/D oranları için Şekil 2'deki eğriler kullanılarak elde edilebilmektedir.  $t/D > 0.5$  kulak yapısı geometrisi için Şekil 2'deki eğrilerden elde edilen gerilme yığılması değeri Şekil 3'te sunulmuş olan eğrileri kullanarak yeniden hesaplanmalıdır.



Şekil 2: Gerilme Yığılması Değerleri ( $t/D < 0.5$ ) [Pilkey, 1998]

Şekil 3: Gerilme Yığılması Değerleri ( $t/D > 0.5$ ) [Pilkey, 1998]

## YÖNTEM

### Kulak ve Bağlayıcı Yapılarının Malzemelerinin Belirlenmesi

Kulak yapısının malzemesi, Niu (1999) tarafından önerilen yöntem ile kulak yapısının beklenen kırılma yükünün hesaplanabilmesi için, Şekil 1'de listelenmiş olan plaka formundaki 2024 Alüminyum malzemeden seçilmiştir.

Çizelge 1: Kulak Yapısı Malzemesi

Tav	Kalınlık (in)
T351	0.5-1.0
T6	-

Bu çalışmada sonlu elemanlar analizlerinde kulak yapısına ilaveten bağlayıcı yapısı da modelleneneceğinden, bağlayıcı malzeme ve geometrisinin de belirlenmesi gerekmektedir. Kulak ve bağlayıcı yapılarından birinin mukavemeti diğerinin mukavemetini de etkilediğinden, bağlayıcı malzemesi olarak, uygulanacak yük altında bağlayıcı yapısında herhangi bir kırılma meydana gelmemesini sağlayacak kadar sert bir malzeme seçilmelidir. Bu sebeple bağlayıcı malzemesi Ti-6Al-4V olarak belirlenmiştir. Ayrıca Pilkey (1998),  $E_{bağlayıcı}/E_{kulak}$  oranının 1 ile 3 arasında olması durumunda kulak ve bağlayıcı malzemelerinin farklılığının gerilme yığılması değerleri üzerine olan etkisinin çok önemli olmayacağını belirtmektedir. Seçilen bağlayıcı ve kulak malzemeleri için bu rakam 1.5 mertebesinde olmaktadır.

### Kulak ve Bağlayıcı Yapılarının Geometrilerinin Belirlenmesi

Kulak yapısının geometrisi, W ve D geometrik değişkenlerinin oranlarının ( $W/D$ ) Şekil 1'de sunulan grafik aralıkları içerisinde kalmasına dikkat edilerek oluşturulmuştur. Şekil 1'de grafik aralıkları aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

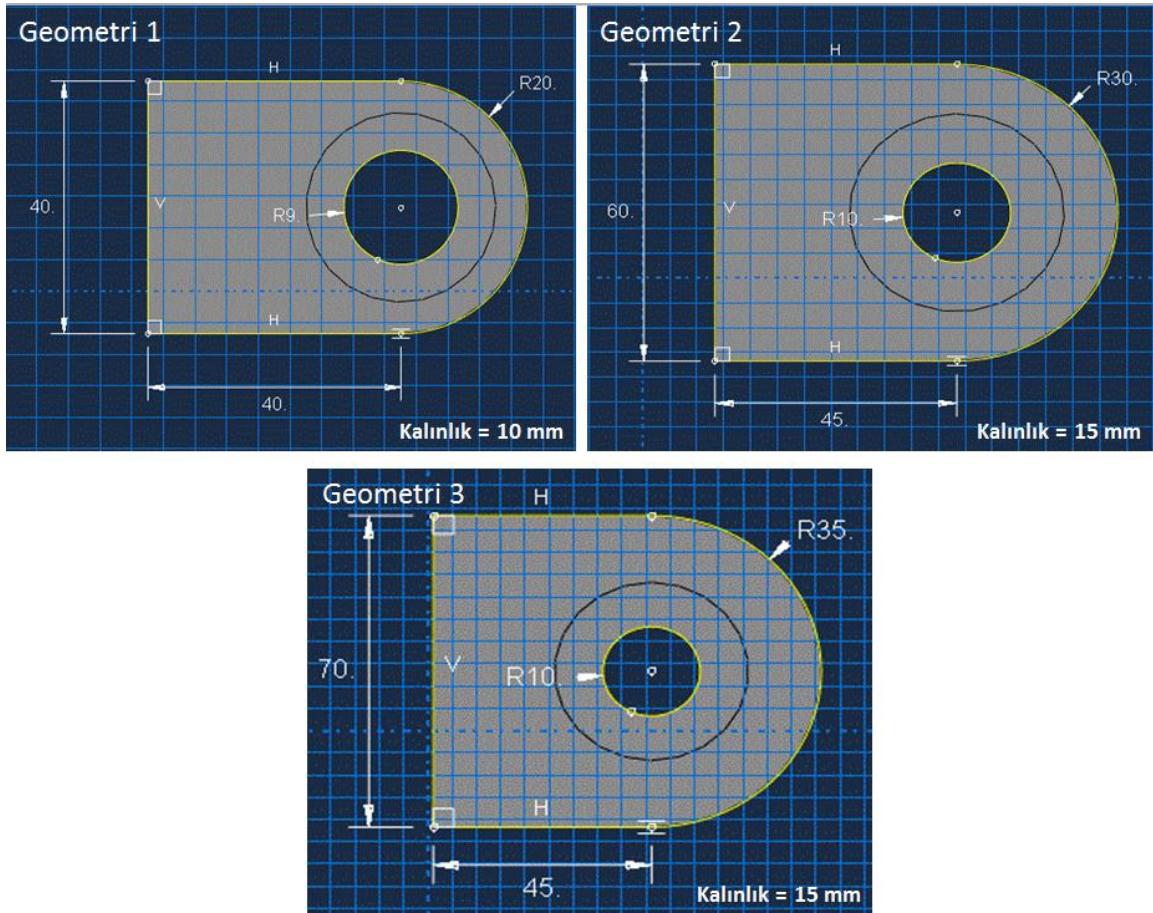
$$1.0 < W/D < 5.0$$

Bu çalışma için seçilen kulak yapısı geometrisi Çizelge 2'de sunulmuştur :

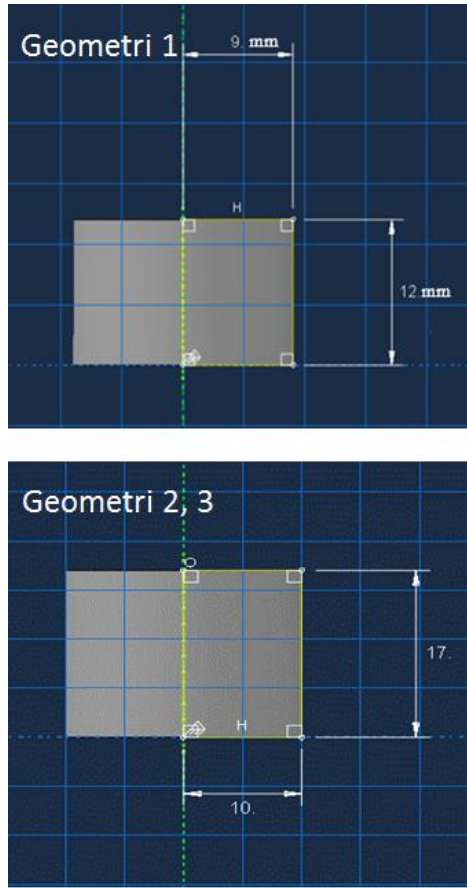
Çizelge 2: Kulak Yapısı Geometrisi

Geometri No.	W (mm)	D (mm)	a (mm)	t (mm)
1	40	18	20	10
2	60	20	30	15
3	70	20	35	15
4	90	20	45	15

Bağlayıcı geometrisi kulak geometrisine uygun olarak seçilmiş ve olası bir eğilmenin (bending) mümkün olan en aza indirilebilmesi için bağlayıcı boyu olabildiğince kısa tutulmuştur. Şekil 4 ve Şekil 5'te sırası ile kulak yapısı ve bağlayıcı geometrileri verilmiştir. Bu çalışmada 4. geometrinin kulak ve bağlayıcı geometrileri ile sonlu eleman analizleri sonuçları sunulmamıştır. Çizelge 2'de bu geometri için hesaplanan gerilme yığılması değerleri verilmiştir.



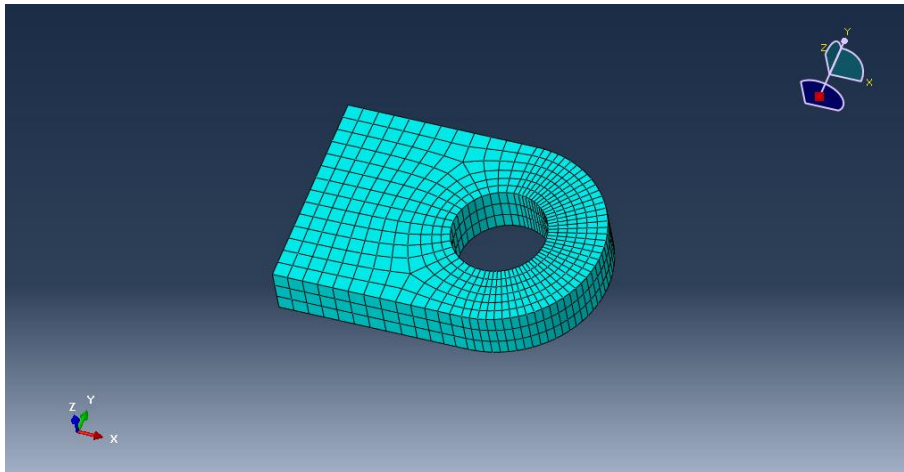
Şekil 4: Kulak Yapısı Geometrisi



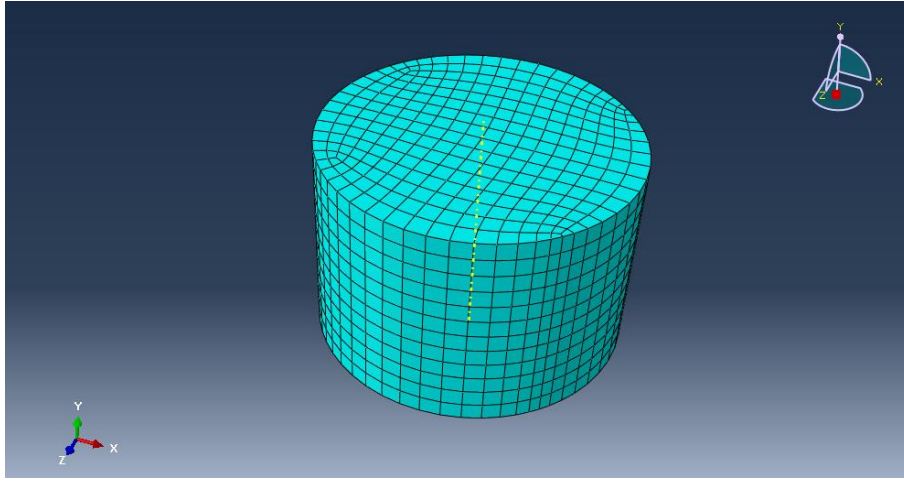
Şekil 5: Bağlayıcı Yapısı Geometrisi

### Kulak ve Bağlayıcı Yapılarının Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Analizi

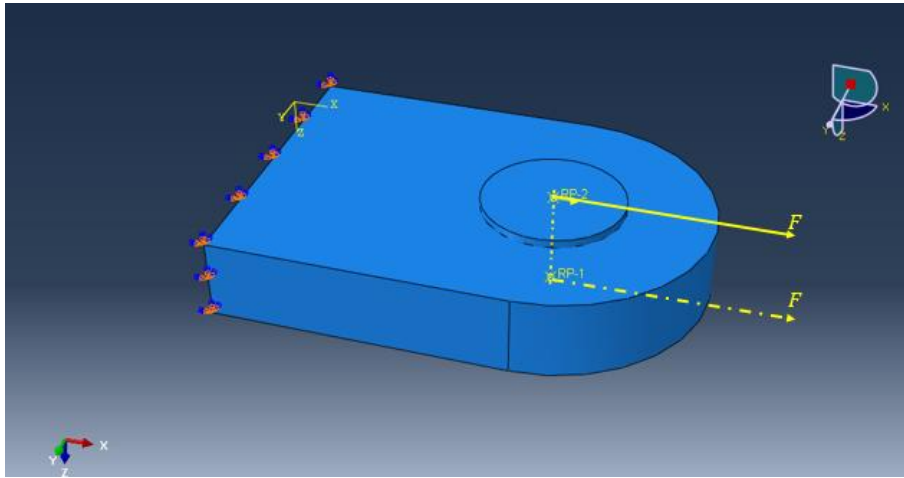
Kulak ve bağlayıcı yapıları ABAQUS Sonlu Elemanlar Paket Programı kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir. Bağlayıcı ve kulak yapısı arasında mekanik kontak tanımlanmıştır. Sınır koşulları olarak, kulak yapısı eğrisel olmayan kenarı boyunca tüm 6 serbestlik derecesinde (3 öteleme ve 3 dönme) sabitlenmiştir. Bağlayıcının alt ve üst yüzeylerinden eşit büyüklükte aksenal yükler uygulanmıştır. Şekil 6 ve Şekil 7 sırası ile kulak ve bağlayıcı yapılarının 3 boyutlu katı modellerini ve çözüm ağını göstermektedir. Yapıya ait sınır koşulları Şekil 8 de verilmiştir.



Şekil 6: Kulak Yapısının Üç Boyutlu Katı Modeli



Şekil 7: Bağlayıcı Yapısının Üç Boyutlu Katı Modeli



Şekil 8: Kulak ve Bağlayıcı Yapının Sınır Koşulları

### Delik Çevresinde Oluşan Gerilimin Analitik Olarak Hesaplanması

Kulak yapısının delik çevresinde herhangi bir gerilme yığılması öngörmeden oluşması beklenen gerilim analitik olarak (1) numaralı denklemde verilmiştir [Pilkey, 1998].

$$\sigma_{eks} = \frac{F_{uygulanan}}{(W - D) * t} \quad (1)$$

### Uygulanması Planlanan Yüklerin Belirlenmesi

Uygulanacak 2 farklı yük değerinin de kulak yapılarının beklenen kırılma yük değerlerinden küçük olması planlanmıştır. Bu sayede gerilim yığılma değerinde delik kenarında bölgesel olarak oluşacak olan plastik deformasyondan kaynaklı değişimlerin önüne geçilebilecektir.

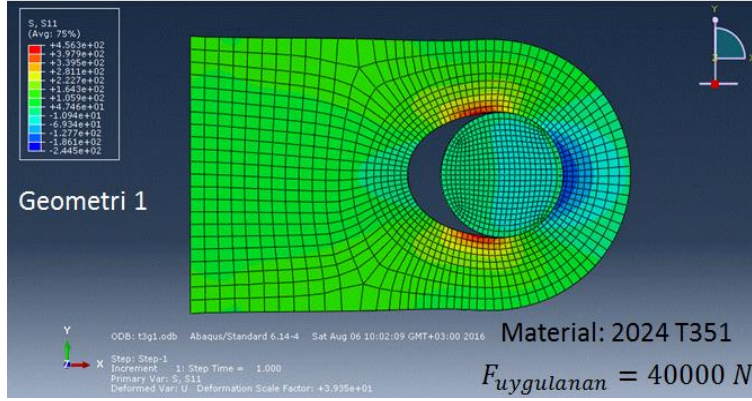
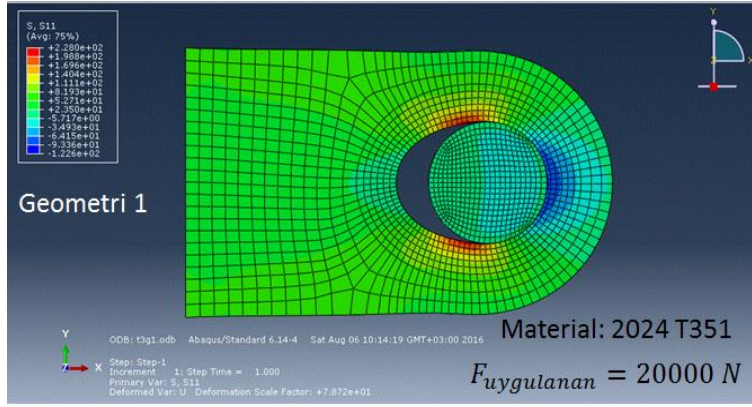
Kulak yapısının beklenen kırılma yükü literatürde verilen yöntemle göre (2) numaralı denklem ile hesaplanmaktadır [Niu, 1999].

$$P_{tu} = K_t * F_{tu} * (W - D) * t \quad (2)$$

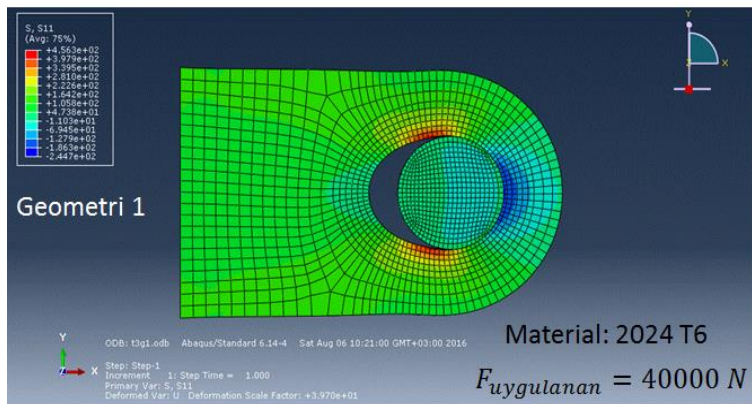
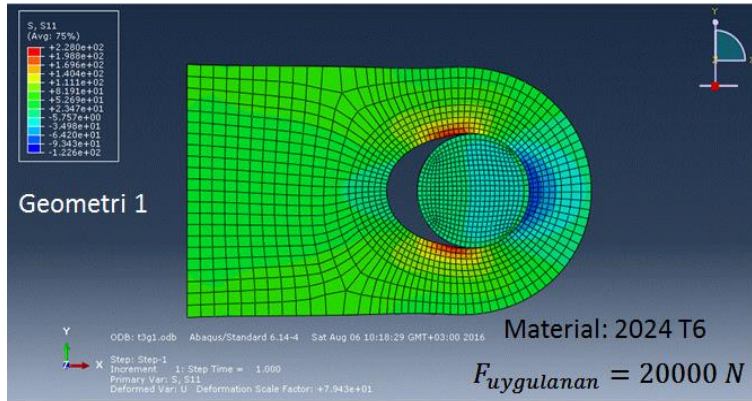
### UYGULAMALAR

Çalışmada 2 farklı yük değeri 2 farklı malzeme tipi ve 3 farklı geometri için sonlu eleman analizleri yapılarak maksimum gerilme değerleri elde edilmiştir. İlaveten, yine bu 16 farklı durum için (1) numaralı denklem kullanılarak maksimum gerilme değerleri herhangi bir gerilme yığılması gözlemlenmeden hesaplanmıştır. Sonlu eleman analizlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de 3 farklı geometri tipi için ayrı ayrı verilmiştir. Çizelge 3, uygulanan 16 farklı durum için hesaplanmış olan gerilme yığılması değerlerini ve Pilkey (1998) tarafından önerilen yöntem ile hesaplanan gerilme yığılma değerlerini göstermektedir.



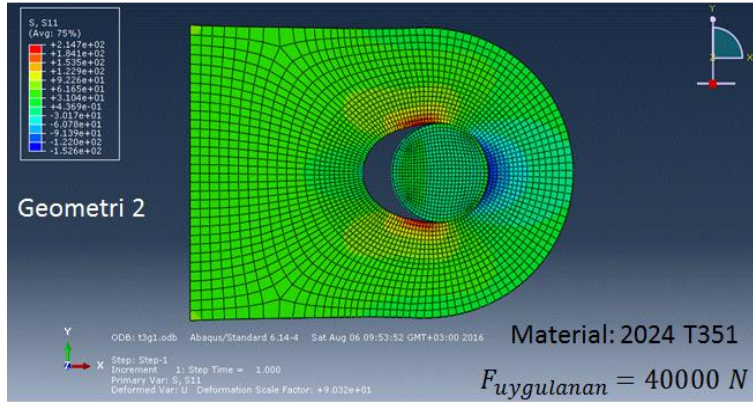
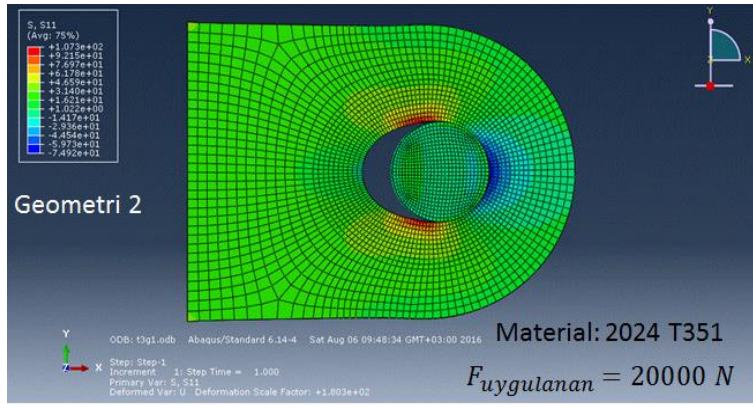


(a)

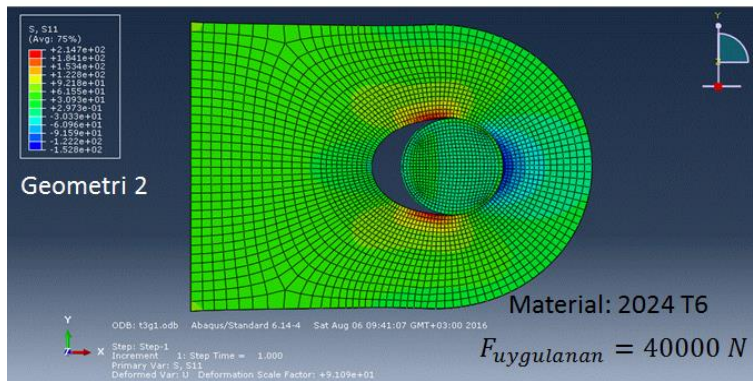
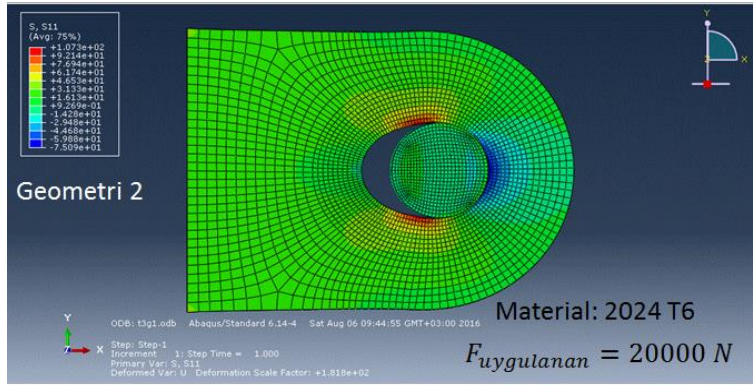


(b)

Şekil 9: 1. Geometri için Sonlu Elemanlar Analizleri Sonuçları ((a): 2024 T351, (b): 2024 T6)



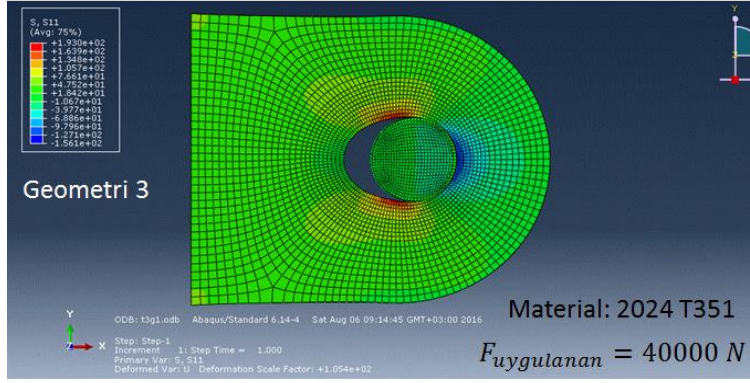
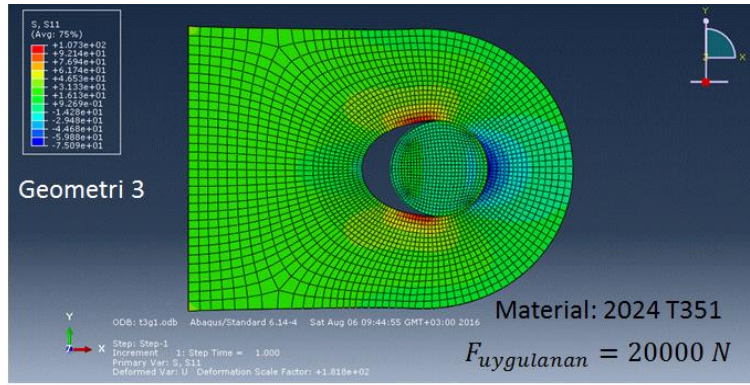
(a)



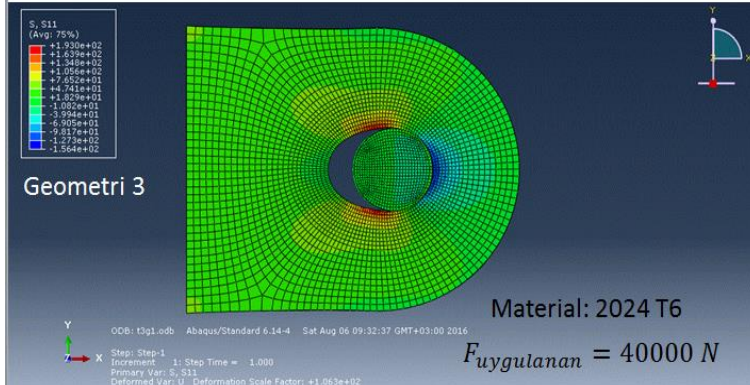
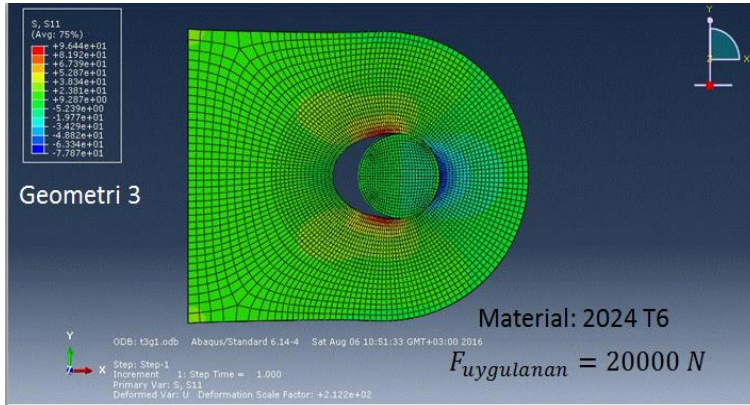
(b)

Şekil 10: 2. Geometri için Sonlu Elemanlar Analizleri Sonuçları ((a): 2024 T351, (b): 2024 T6)





(a)



(b)

Şekil 11: 3. Geometri için Sonlu Elemanlar Analizleri Sonuçları ((a): 2024 T351, (b): 2024 T6)

Çizelge 3: Sonlu Elemanlar Analizleri ve Literatürde Verilen Yöntemler ile Hesaplanan Gerilme Yığılma Değerleri

Malzeme Tipi ve Geometri No.	Uygulanan Yük (N)	Gerilme Yığılma Değeri (1) (Sonlu Elemanlar Analizi)	Gerilme Yığılma Değeri (2) (Pilkey, 1998)	Oran (1) / (2)	(W-D)/W
2024 T351, Geometri 1	20000	2,51	4,39	0,57	0,55
	40000	2,51	4,39	0,57	0,55
2024 T351, Geometri 2	20000	3,22	4,68	0,69	0,67
	40000	3,22	4,68	0,69	0,67
2024 T351, Geometri 3	20000	3,62	4,94	0,73	0,71
	40000	3,62	4,94	0,73	0,71
2024 T351, Geometri 4	20000	3,94	4,99	0,79	0,78
	40000	3,94	4,99	0,79	0,78
2024 T6, Geometri 1	20000	2,51	4,39	0,57	0,55
	40000	2,51	4,39	0,57	0,55
2024 T6, Geometri 2	20000	3,22	4,68	0,69	0,67
	40000	3,22	4,68	0,69	0,67
2024 T6, Geometri 3	20000	3,62	4,94	0,73	0,71
	40000	3,62	4,94	0,73	0,71
2024 T351, Geometri 4	20000	3,94	5,25	0,75	0,78
	40000	3,94	5,25	0,75	0,78

Analitik hesaplamalar ve sonlu eleman analizleri sonucunda elde edilen gerilme yığılması değerleri ile literatürde verilen yöntemler ile hesaplanan gerilme yığılması değerleri arasında belirlenen malzeme tipleri, yükleme şekilleri ve geometri tipleri çerçevesinde oransal bir değişim olduğu görülmektedir. Bu ilişki 16 farklı durum için yapılan karşılaştırmaların sonunda aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$\text{Gerilme Yığılması Değeri (SEA)} = \text{Gerilme Yığılması Değeri (Pilkey, 1998)} * \frac{(W - D) * t}{W * t} \quad (3)$$

(3) numaralı denklemde verilmiş olan  $\frac{(W-D)*t}{W*t}$  oranı kulak yapısının net ve brüt alanlarının oranıdır.

## SONUÇ

Bu bildiride uygulanan yük değerinin, kulak yapısı geometrisinin ve kulak yapısı malzemesinin değişimi ile koniklik açısı sıfır derece olan kulak yapılarının gerilme yığılması değerlerinin değişiminin değerlendirilmesi için incelenen 16 farklı duruma ait kulak yapısının analitik ve sonlu elemanlar analizleri sunulmuştur. Yapılan analizler sonucunda, göz önünde tutulan 16 farklı durum için gerilme yığılması değerleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ayrı ayrı elde edilmiş ve Pilkey (1998) tarafından önerilen yöntem ile hesaplanan gerilme yığılması değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmaların sonucunda bu iki değer arasında değerlendirilen durumlar çerçevesinde oransal bir ilişki olduğu görülmüştür.

## Kaynaklar

Bruhn, E., F.. *Analysis and Design of Flight Vehicle Structures*. 1973.

Chun, M., Niu, M.. *Airframe Stress Analysis and Sizing*. January 1999.

Pilkey, W. D., & Pilkey, D. F.. *Peterson's Stress Concentration Factors*. 1998

Stress Concentration. (n.d.). Retrieved August 05, 2016, from

<http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~ernesto/Su2012/EP/MaterialsforStudents/Aiello/Roark-Ch06.pdf>